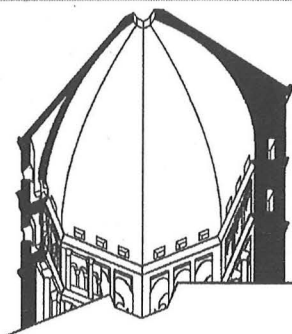


CUADERNOS de
Restauración

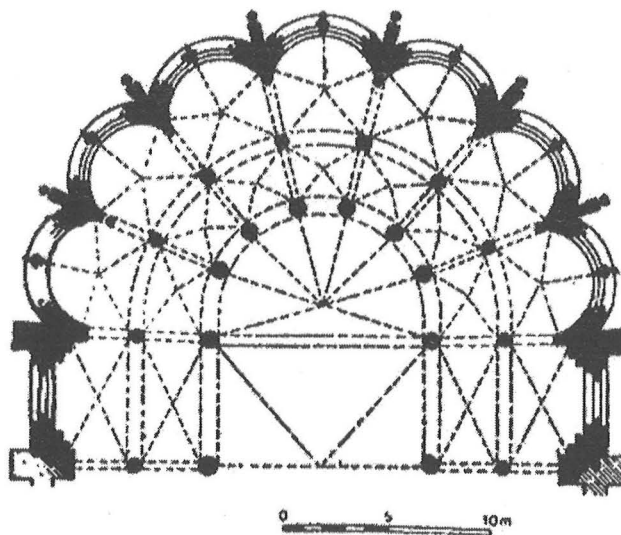


XX

LA EXPLOSIÓN GÓTICA

DEL ORIGEN DE SU LENGUAJE CONSTRUCTIVO

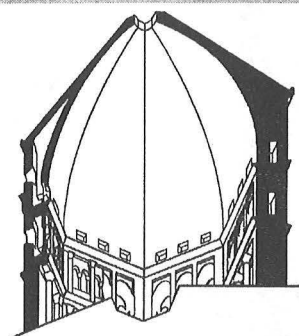
JOSÉ MIGUEL ÁVILA JALVO



CUADERNOS
DEL INSTITUTO
JUAN DE HERRERA
DE LA *ESCUELA DE*
ARQUITECTURA
DE MADRID

8-19-03

CUADERNOS de
Restauración



XX

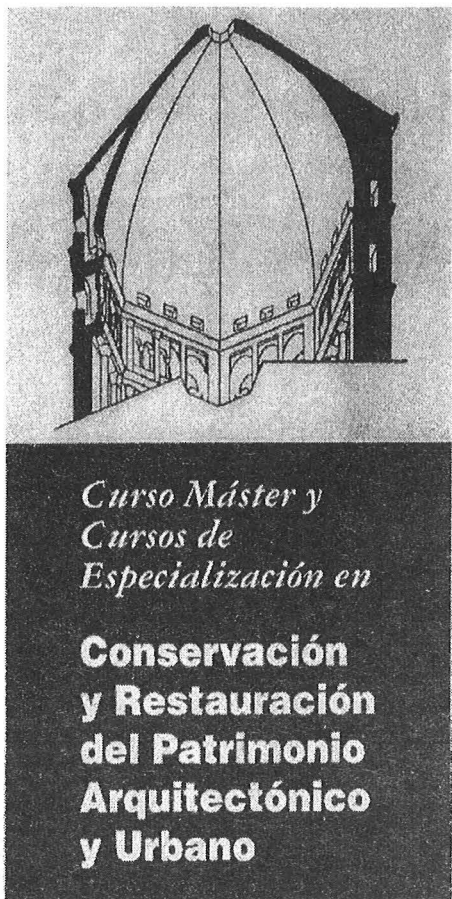
LA EXPLOSIÓN GÓTICA

DEL ORIGEN DE SU LENGUAJE CONSTRUCTIVO

JOSÉ MIGUEL ÁVILA JALVO

CUADERNOS
DEL INSTITUTO
JUAN DE HERRERA
DE LA *ESCUELA DE*
ARQUITECTURA
DE MADRID

8-19-03



**CUADERNOS
DEL INSTITUTO
JUAN DE HERRERA**

NUMERACIÓN

- 1 Área
- 19 Autor
- 03 Ordinal de cuaderno (del autor)

ÁREAS

- 0 VARIOS
- 1 ESTRUCTURAS
- 2 CONSTRUCCIÓN
- 3 FÍSICA Y MATEMÁTICAS
- 4 TEORÍA
- 5 GEOMETRÍA Y DIBUJO
- 6 PROYECTOS
- 7 URBANISMO
- 8 RESTAURACIÓN

DIRECCIÓN: D. Ricardo Aroca Hernández-
Ros

D. Javier García Gutiérrez
Mosteiro

**SECRETARÍA Y
COORDINACIÓN**

ACADÉMICA: Dña. Angelique Trachana



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE ARQUITECTURA DE MADRID



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA
DE MADRID

La explosión gótica: Del origen de su lenguaje constructivo

© 2006 José Miguel Ávila Jalvo

Instituto Juan de Herrera.

Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid.

Gestión y portada: Nadezhda Vasileva Nicheva

CUADERNO 221.01 / 1-19-03

ISBN-13: 978-84-9728-205-5

ISBN-10: 84-9728-205-1

Depósito Legal: M-29921-2006

La arquitectura gótica, qué duda cabe, nace en la girola de Saint-Denis de la mano del maestro y abad Suger. Pero lo notable, y no pudo ser casualidad, es que inmediatamente después de esa primera obra —por no decir que a la vez— se estuviera realizando un conjunto de catedrales cuya composición se articula bajo ese nuevo idioma formal, identificable por el empleo al unísono de los mismos elementos constructivos: arbotantes, pináculos, botareles y crucerías. Se establece explosivamente un nuevo lenguaje, que formalmente no parece tener relación con lo románico, para resolver técnicamente la demanda de cabildos y ciudades: inundar de luz el interior de la catedral.

Para que la técnica constructiva de aquel momento ofreciera esa respuesta inmediata no cabe otra explicación sino que previamente existieron los elementos con los que encontrar solución al problema demandado. Por decirlo resumidamente: el gótico es un lenguaje nuevo pero escrito con palabras que formaban parte del léxico románico.

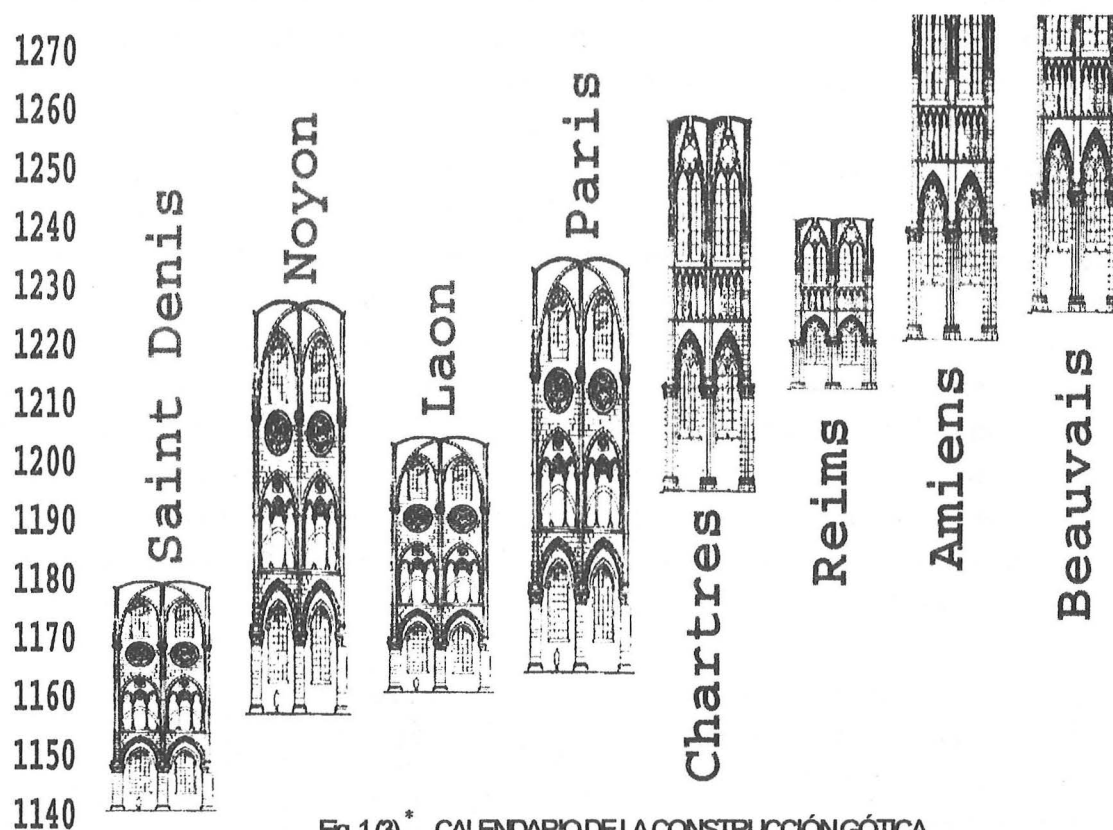


Fig. 1(3) * CALENDARIO DE LA CONSTRUCCIÓN GÓTICA

Para analizar esa explosión inicial he compuesto un gráfico, presentado en la figura 1, que contiene las fechas significativas de algunas de las catedrales construidas en el entorno de la Isla de Francia en la centuria de 1160 a 1260. Varias de las primitivas y varias del periodo clásico. Cada una ocupa en vertical los años que duró su construcción esencial, aplicando para ello la escala que figura en el margen izquierdo del cuadro. En lugar de representarlas con un trazo —con una barra—, he usado el alzado interior de un tramo de una nave, copiado del trabajado libro de Fletcher. El de Nôtre Dame en todas las primitivas y el de Reims en todas las clásicas o puras. Para acomodar la duración de la obra de cada catedral a la escala de tiempo he alargado el alzado ficticiamente. De este modo, aunque el ritmo de la construcción no es lógicamente lineal, podemos hacernos una vaga idea de la etapa constructiva en la que estarían unos edificios respecto de otros.

* Entre paréntesis está señalada la referencia bibliográfica, que figura al final del texto.

Refiriéndome ya al contenido del cuadro, vemos como, a lo largo de unos cien años, se construyeron todos estos edificios y que cada uno tardó en elevarse unos 60 años, de modo que todos se estaban fabricando a la vez. Podríamos decir que cuando comenzaban a montarse los salmeres de Saint-Denis se estaban poniendo las basas en Nôtre Dame; o, más ampliamente: como para realizar la cimentación de los contrafuertes de un edificio debe conocerse la bóveda que empuja, la modulación de la planta del edificio y casi todas las demás cosas que están por hacer, todos los maestros habían resuelto la forma de encaminar la construcción que resolviera técnicamente el problema de la iluminación interior antes de verlo en otro sitio, sin experiencia previa o teniendo no mucho más que un conocimiento somero de lo que estuviera previsto en otros edificios, ya que no estaban sino empezados. Viéndolo de otro modo, pudo haber un plan director que regulara todas estas obras y que todas lo siguieran, pero en el fondo es lo mismo, pues se dio al asunto solución inmediata y sensiblemente única, fuera con un prototipo o con un conjunto de obras similares.

Es claro que la sola técnica es insuficiente para esta empresa y tampoco vale echar mano de una mente privilegiada que desarrolle un sistema constructivo sin apoyarse en él. Lo primero se hubiera quedado en la mera adición paulatina de elementos constructivos y lo segundo se hubiera limitado a un ejercicio teórico. Lo que vino a ocurrir, edificio tras edificio, fue un cúmulo de novedades formando sociedad arquitectónica y constructiva, y eso tuvo que arrancar necesariamente de un conocimiento experimental previo, realizado con técnicas no sólo conocidas sino dominadas por los distintos artífices, hasta el punto de poderlas aplicar en su nueva obra de forma fiable. El románico fue necesariamente su caldo de cultivo y en sus edificios se habían ido insertando esas palabras hasta el gótico inconexas. Faltaba un detonante, que no fue otro que la búsqueda de la luz, y una capacidad económica para llevarlo a cabo. Veremos ahora que efectivamente esos elementos existieron previamente.

Dibujar la solución 'gótica' de la entrada de luz en una catedral es sencillo. Basta mirar la sección transversal de la catedral de Tui, dibujada por Lampérez, y que figura en el libro de Chueca. Todo lo que hay que hacer, como refleja la figura 2, es bajar la altura de las naves laterales para abrir ventanas en los nuevos muros de la nave central. Eso sí, dejando los elementos de contención (arbotantes).

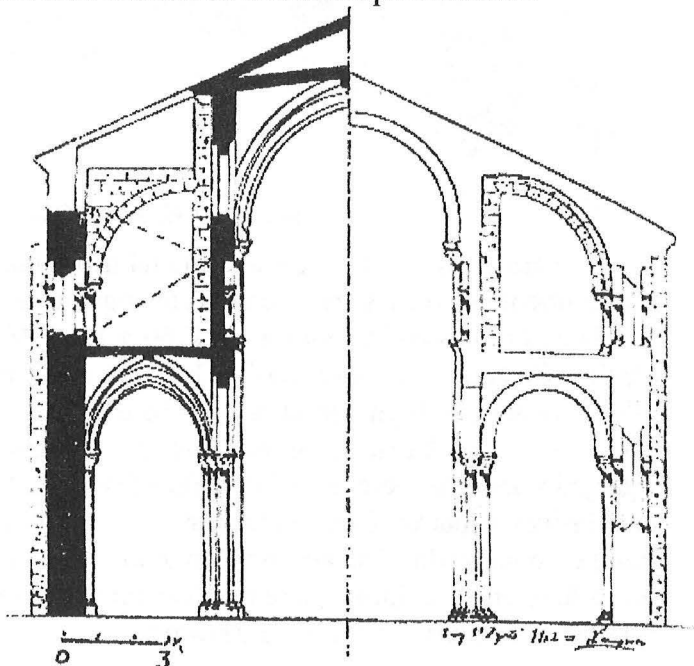


fig 2 (2) —Catedral de Tui. Secciones real e hipotética. (LAMPÉREZ.)

De paso, en esa misma figura, vemos, de la mano del mismo autor, la sección hipotética románica —y para no andar con hipótesis, recordemos la sección de la catedral de Santiago de Compostela—. ¿No son arbotantes los arcos fajones de las naves laterales, aunque no aparezcan al exterior en lo románico y sí en lo gótico?

Pero dibujar no es lo mismo que construir. Cuando, en sentido figurado se define ‘arco de iglesia’ como empresa de especial dificultad, el diccionario no es —en lo referente al arte de construir— del todo correcto. Lo realmente difícil es hacer un muro aislado y alto que no se venga abajo ante los empujes del ‘arco de iglesia’.

Hacer muros altos no fue novedad gótica, lo llevábamos haciendo desde el primer románico, lo que no es poca experiencia. Las primera naves románicas fueron techadas con madera, bien porque no sabíamos hacer bóvedas ahí arriba, bien porque se nos caían. Lo cierto es que sí sabíamos construirlas de ese tamaño, como demuestra cualquiera de los puentes del camino de Santiago, que son de esos mismos años. Porque lo difícil no era el arco sino el muro, que ese sí que fue mejorando con el paso de los años románicos para que colocáramos sobre él las bóvedas. El puente apoya sus arcos en unas pilas gruesas y poco esbeltas. Cuando tiene varios ojos, éstas, además, reciben los empujes contrarrestados. Y, en los extremos, los estribos están acostados contra el terreno, siendo su grosor aún más considerable. Nada que ver con el muro suelto de la iglesia.

Los muros de varios haces y con rellenos de baja calidad y poca traba son poco adecuados para contener bóvedas y arcos. Deben ser gruesos pero sobre todo bien hechos. Pueden y suelen tener relleno, pero éste debe ser compacto y atravesado con piezas —perpianos— que conecten con frecuencia las dos caras externas.



fig 3 SAN MILLÁN (Segovia) cortesía de José Miguel Merino

y SANTA M^ª MAGDALENA (Zamora)

La calidad constructiva del muro venía mejorando desde varios siglos antes, no sólo para soportar bien los empujes sino para admitir el aumento de las tensiones de compresión, que crecen a la vez que lo hace la altura del edificio. Sencillamente, doble altura significa doble peso y, en consecuencia, doble tensión. Cuando el románico duplica el tamaño del prerrománico, y después el gótico triplica la altura románica, no queda otro remedio que construir mejor para soportar ese crecimiento séxtuplo de los esfuerzos.

Aquí entra en juego el diseño de los edificios, que también supuso una larga labor de aprendizaje: Las obras románicas son menos pesadas que las prerrománicas y las góticas más ligeras que las primeras. Naturalmente, dicho en términos relativos. O sea, si aumentáramos de escala un edificio primitivo hasta hacerlo de tamaño gótico sus esfuerzos crecerían entre cuatro y seis veces, por lo que posiblemente se aplastaría o, más probablemente, se deformaría mucho más que cuando era pequeño, hasta llegar a derrumbarse, ya que el material con el que están hechos es el mismo, incluidos los morteros de las juntas. En resumen, los sistemas mecánicos y los materiales se van agotando al aumentar los esfuerzos y, al ser el material el mismo (dependiendo de cada comarca), deben ser los sistemas estructurales los que mejoren, para mantener el régimen de esfuerzos en valores aceptables. Esto es lo que expresa la figura 4, donde he aumentado el tamaño y forzado la escala vertical para que la iglesia de Santiago de Peñalba coincida con la catedral de Tarragona. Como se aprecia, ambas obras son globalmente similares pero, mientras la catedral tiene los elementos discriminados (nervios, pilares y arcos...), la primitiva son sólo muros y bóvedas. Esa discriminación de los elementos en el gótico conduce a una reducción de peso al evitar gruesas bóvedas a cambio de delgadas plementerías apoyadas en nervios. Eso no se opone a que el diseño fuera en ambos casos adecuado. Porque si la obra es pequeña resulta más sencillo fabricarla con elementos no diferenciados. Su peso es poco relevante y permite hacerla sin especial cuidado constructivo, además de que muros y bóvedas están forzados a tener un grueso mínimo no reducible debido al sistema de construcción del material, de modo que de poco vale que hubiera sido mecánicamente posible el uso de menores espesores. Pero, cuando los edificios fueron aumentando de tamaño, si discriminar elementos resultaba económicamente obligado (por ejemplo: la complejidad de la cimbra, el volumen del material de las bóvedas y el grosor de los muros... de una bóveda masiva son mucho mayores y costosos que lo que se necesita para hacer cruceros, plementos, columnas y pilastras) lo que resultaba mecánicamente esencial era reducir deformaciones y esfuerzos.

Se puede afirmar que una pequeña bóveda prerrománica no es necesario sino voltearla para que se mantenga en pie y que sus empujes van a ser soportados por el muro en el que apoye, ya que el espesor mínimo que exige su propia ejecución es más que suficiente para esa misión. Al hacer la obra mayor, se economiza si se insertan arcos fajones, y la calidad constructiva debe afinarse para que las deformaciones provocadas por el aplastamiento de las juntas de las dovelas de los arcos y de los sillares de los contrafuertes sean aceptables. Si, en un paso más, se quiere hacer una bóveda que apoye sólo en sus cuatro esquinas, deberá ser de

crucería para que sus arcos nazcan de éstas. El empuje, que antes afectaba a todo el lateral, se concentra y el muro pierde protagonismo a favor del contrafuerte, cuya capacidad de contrarresto crece a doble velocidad que lo hace su grosor. A partir de aquí, el que exista muro entre los contrafuertes o se convierta en un ventanal es poco relevante.

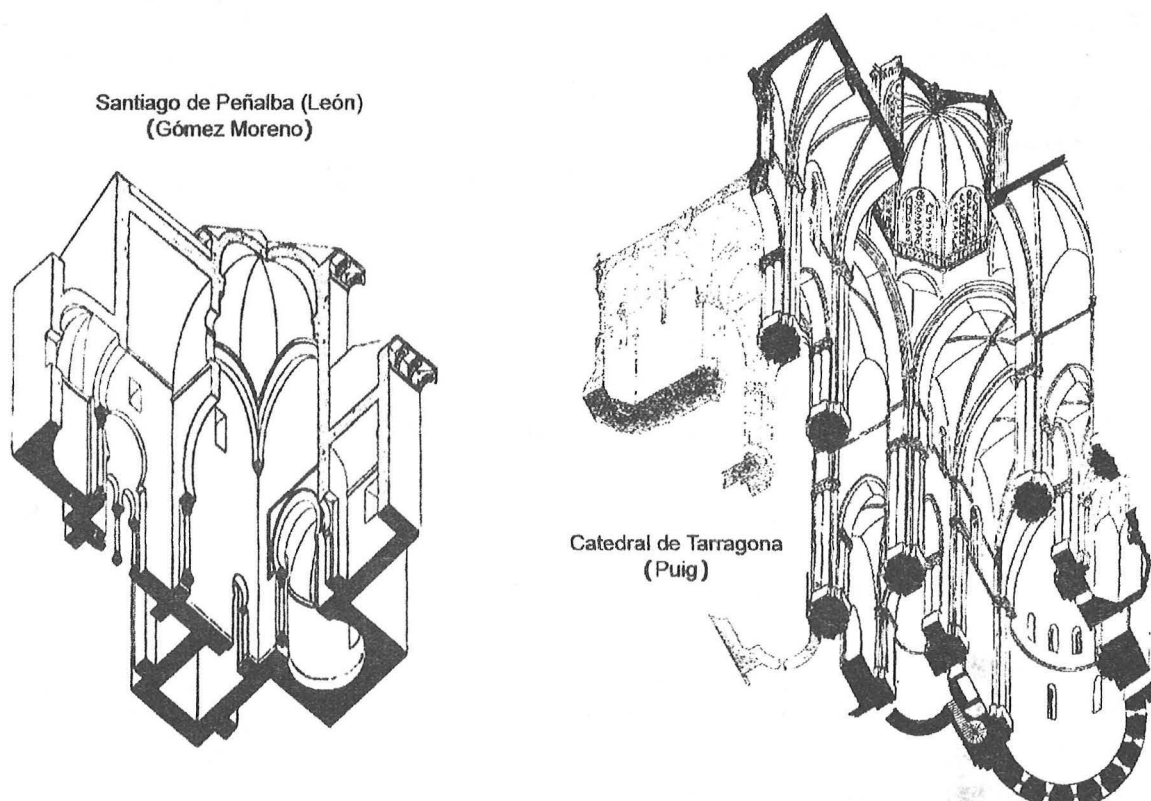


fig4(2) SANTIAGO DE PEÑALBA Y LA CATEDRAL DE TARRAGONA

Esta concentración de empuje en las esquinas y el uso de bóvedas en dos direcciones ya lo utilizaron los romanos cuando sobreelevaban las naves centrales con respecto de las laterales, contrarrestando los empujes de la bóveda de arista central con muros transversales situados entre los tramos de las naves laterales, como se ve en el dibujo de Viollet de las termas de Caracalla (figura 5), o en la basílica de Magencio.

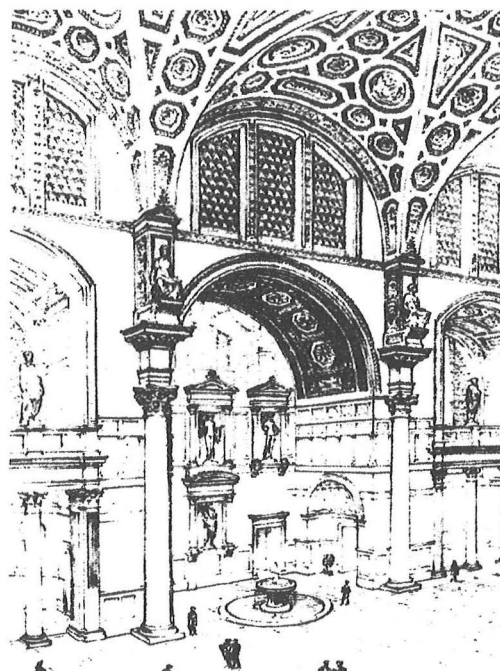


fig5(7) TERMAS DE CARACALLA (Viollet-le-Duc)

Otra forma de iluminar el interior se podría haber conseguido elevando las naves laterales hasta la altura de la central, al modo de las iglesias de salón, abriendo los ventanales en los muros laterales. Pero este modelo estaba dando mal resultado, mecánicamente hablando, debido a la gran diferencia de empuje entre las bóvedas de las distintas naves. Unas veces, provocando fuertes deformaciones que obligaron con el tiempo a obras de acodalamiento como las que vemos en santa María del Campo (Coruña), otras, y a otra escala, donde se tomaron precauciones para evitar daños, como las realizadas por los maestros de la girola de la catedral de Ávila colocando unos codales para evitar de antemano esa deformación entre arcos dispares.* Hasta que varios siglos después se acabara mejorando su diseño mecánico, las naves de salón de aquella época dieron mal resultado por carecer de esas interconexiones.

Por otro lado, las naves laterales cerradas con bóvedas de cuarto de cañón, usadas por el cristianismo primitivo (coptos) y de tradición constructiva procedente de países meridionales luminosos (Egipto), impiden la entrada de luz y son muy deformables, cuando se producen alteraciones del equilibrio global para el que se diseñaron.

Por eso, el tipo de nave lateral más frecuente, gracias a su rigidez, es la ideada en Borgoña, que dispone de un piso intermedio para el triforio, o dos si hay claristorio, hecho con bóveda de arista cuya rigidez sirve de atado intermedio —perpiaños— al conjunto lateral.

En realidad, durante el románico aprendimos, a través de las deformaciones y hundimientos de edificios, que toda la nave lateral tenía que formar un elemento compacto contenedor de los empujes de la nave central. Por decirlo de otro modo, tenía que ser 'el muro' de la nave central. Así, si una fábrica se forma con dos haces y el relleno interior, el muro que constructivamente se esconde en la arquitectura de la nave lateral se compone de: un haz interior, que son los elementos que la separan de la central, un haz exterior que es el muro lateral del edificio y, el relleno, que es el hueco ocupado por la propia nave lateral. Pero este hueco no podía serlo del todo (al igual que es necesario que el relleno interior entre los haces del muro le sirva de conexión a estos) ya que debía de tener elementos de atado —lo que en un muro llamamos perpiaños— para que no se desarticulara ante el empuje de los arcos centrales. Así, la nave lateral fue siendo cada vez más rígida —quiero decir que se fueron interconectando mejor los elementos que la conforman— para que toda su anchura quedara mecánicamente a disposición de la contención del empuje de la nave central.

Cuando se fue entendiendo que para abordar el problema del desplome había que proyectar sistemas con rigidez perpendicular a la bóveda, se dio un último paso consistente en girar el muro lateral poniéndolo transversal al edificio, como habían hecho ya los romanos para resolver la iluminación interior, en la solución antes mencionada.

* Este criterio de intervención preventiva, que defiende Pedro Navascués para Ávila, a mí me parece plausible, toda vez que no se ven deformaciones que hubieran obligado al acodalamiento. A ello se suma la debilidad de las columnas intermedias de la girola para recibir problemas laterales, lo que pudo llevar a los autores a esta prudencia inicial como forma de resolver la excentricidad de la planta de las naves de la girola y que venía obligada por alguna preexistencia constructiva.

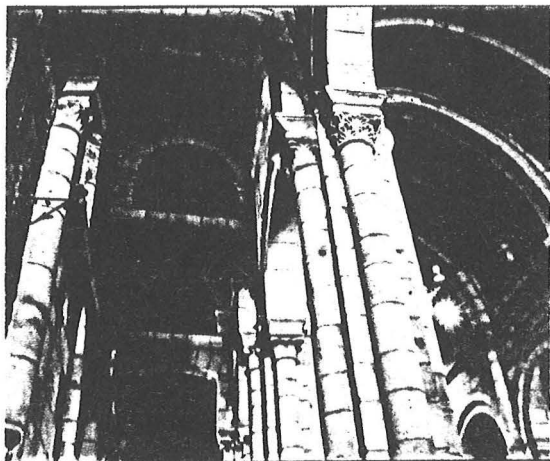
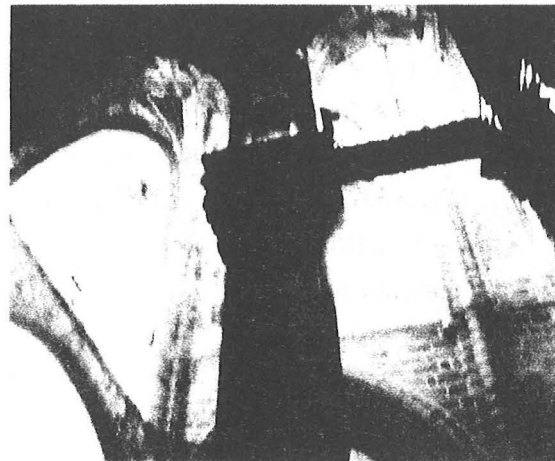


fig 6 STA. Mª DEL CAMPO (Coruña)



Y CATEDRAL DE ÁVILA cortesía de José Luis Gutiérrez

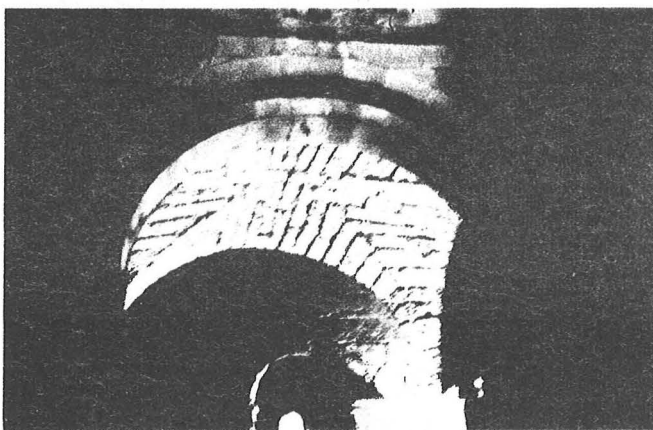


fig. 7 PISO DEL TRIFORIO EN SAN PEDRO (Zamora)

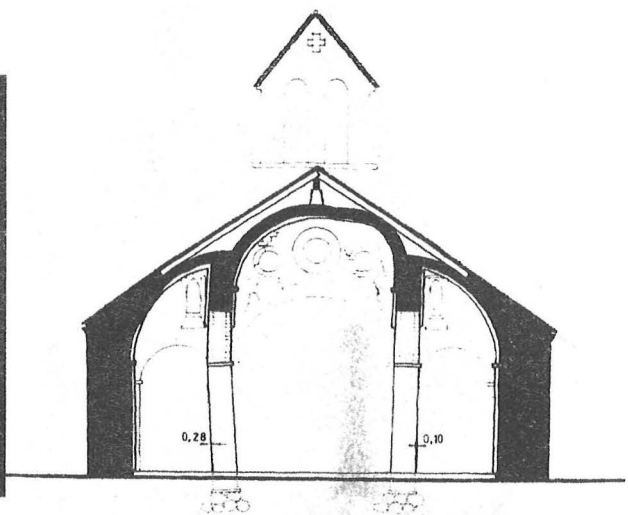
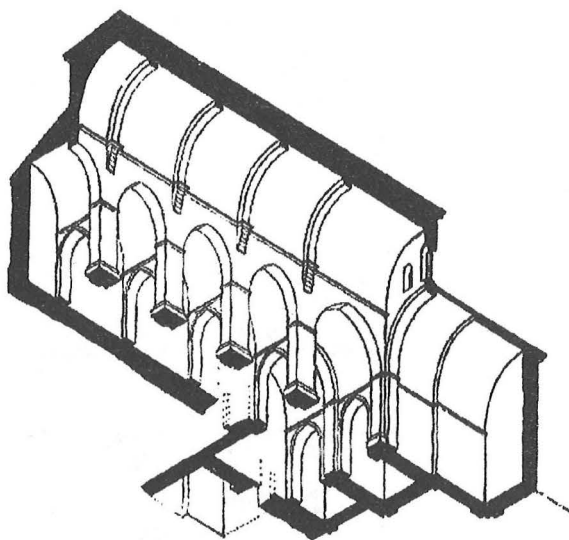
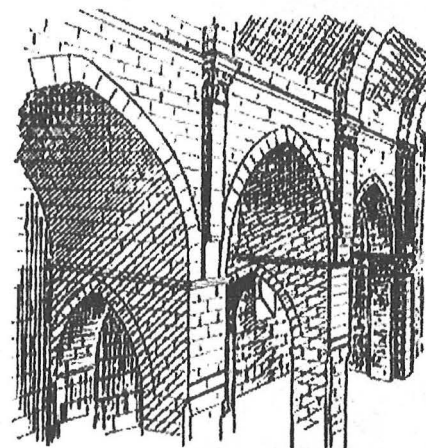


fig. 8 (6) NAVE LATERAL: CUARTO DE CAÑÓN.
STA. Mª DE ARTIÉS



Iglesia del Monasterio de Oya. Sección.



CHATILLON-SUR-LOIRE (FRANKIA) Eglise de

fig 9 (5) IGLESIAS CON NAVES LATERALES DE CAÑÓN TRANSVERSAL (Torres Balbás)

Si abordamos más ampliamente el problema, veríamos que la verdadera cuestión no es tanto darle la vuelta al muro de la nave lateral sino hacer un entramado ortogonal formado por los muros transversales y los longitudinales, cosa que había desarrollado previamente la técnica de las construcciones techadas con madera en tantos lugares y única forma de que los edificios fueran estables, ya que en caso de tener muros sólo en una dirección tratan de caer como un castillo de naipes. Esta es la forma empleada por estos edificios góticos, técnicamente más desarrollados, y que pasa desapercibida a la vista al estar oculta por las bóvedas, pero perfectamente aparente, por ejemplo, en locales secundarios de los conjuntos góticos levantinos (dormitorios y refectorios de tantos monasterios).

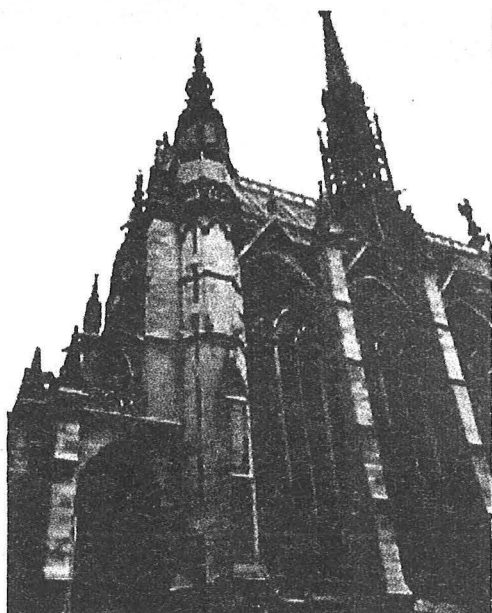


fig. 10 DIAFRAGMAS: Sainte Chapelle



Refectorio de la Seu D'Urgell

y

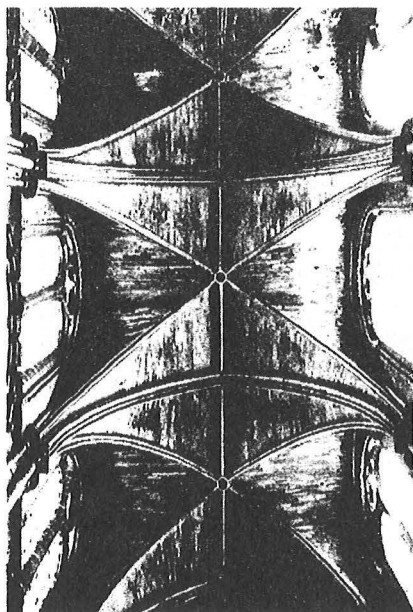
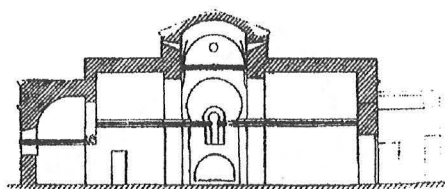


fig. 11 DIAFRAGMAS: Catedral de Burgos



Santa María de Melque (Toledo)

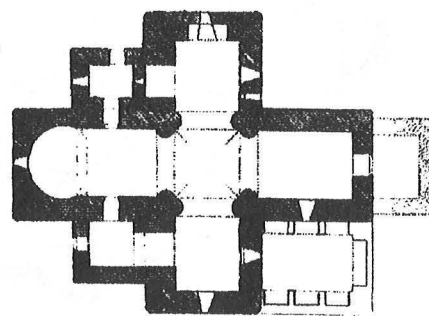


fig. 12 (2) Sta Mª de Melque (Gómez Moreno)

El interior abovedado da una apariencia interior de vacío y ligereza, ya que de los muros sólo quedan visibles las arcadas en ambas direcciones, con sus pilares situados en los nudos que definen esa malla ortogonal. Todo esto produce una obra favorecedora de la estabilidad, ya que siempre dispone de muros dispuestos en la dirección adecuada para contener cualquier empuje, no sólo con el edificio terminado. Desde antes de voltear bóvedas, evitando el efecto de viento sobre los muros sueltos, hasta cuando llega el momento de montar las cimbras, forjando esta obra auxiliar dentro de espacios rectangulares envueltos por la trama de muros. Métodos todos que ya había desarrollado la construcción en zonas sísmicas, donde tuvieron que preocuparse de unos esfuerzos horizontales de envergadura que venían a sumarse a los propios de los empujes. (Véase en la figura 12 esta solución ofrecida, siglos antes, en santa María de Melque).

Todas estas consideraciones han surgido para hacernos cargo, siquiera someramente, de la esencia del problema que hubo que afrontar para poder sobreelevar el muro que separa la nave central de las laterales a fin de abrir ventanales que iluminaran el interior. Debe añadirse, para completar lo anterior que, curiosamente, otros elementos más aparentes han quedado como seña de identidad gótica y que, aunque formen parte del sistema general de equilibrio, resuelven generalmente sólo aspectos locales de la estabilidad: las cubiertas de madera, gracias a que no producen empujes (viento aparte) mientras están sanas; los arbotantes, trasladando el empuje hasta los botareles y que conforma, aunque horadado, el muro transversal comentado; y, los pináculos, coronando los arranques de las bóvedas, para que su peso aumente la capacidad de contención del empuje y evite que deslicen las hiladas superiores de los muros.

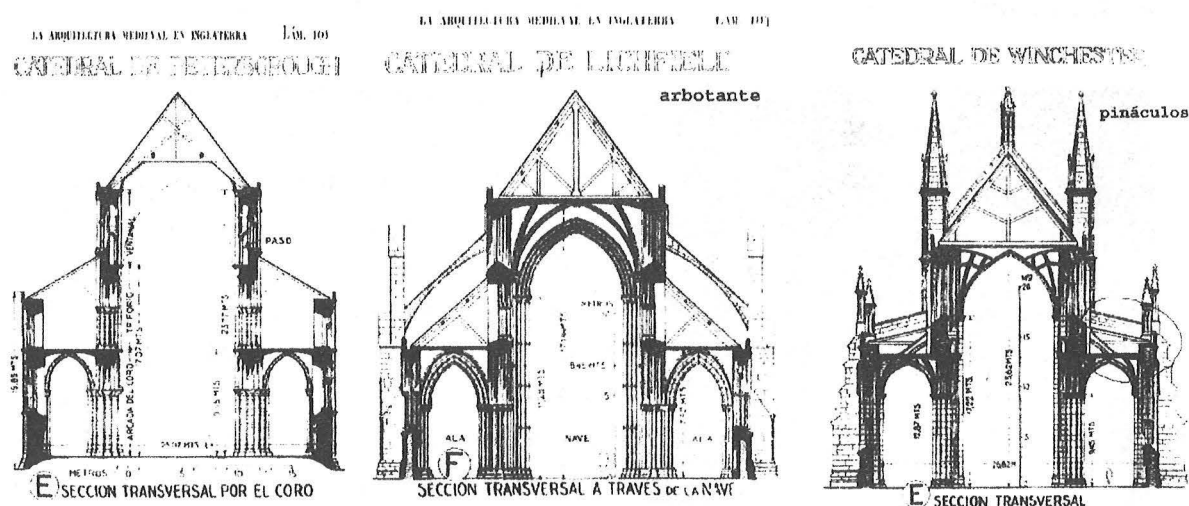


fig 13 (3) SOLUCIONES SIN EMPUJE, CON ARBOTANTES Y CON PINÁCULOS

De modo que con esto concluye la primera parte de este trabajo que ha consistido en exponer los criterios seguidos para mejorar el sistema de contención.

Ahora entramos en la segunda parte, que trata de los modos empleados para atacar el problema en su origen, o sea, de los modos empleados para reducir el empuje de las bóvedas.

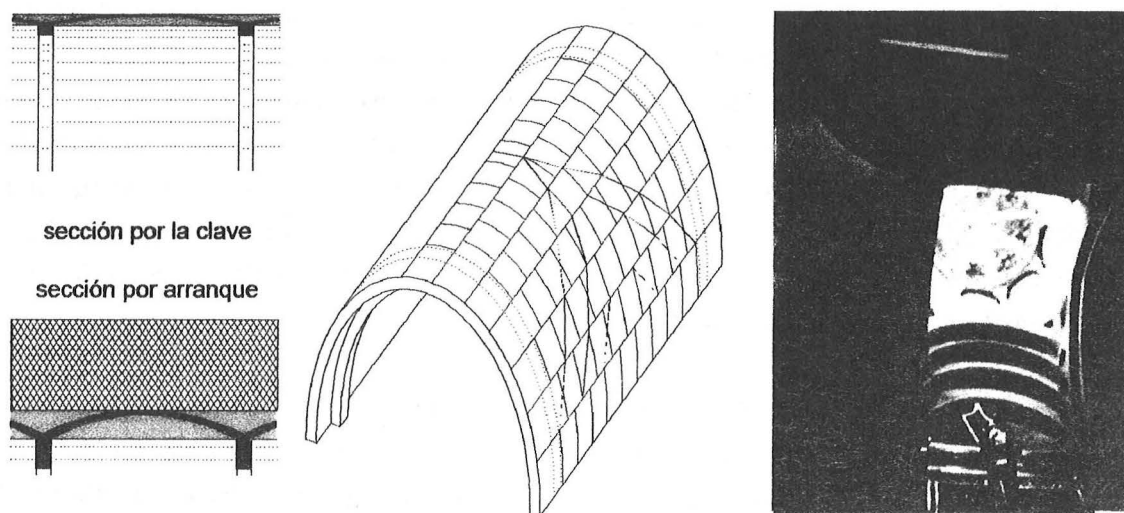


fig. 14 TRANSFERENCIA DE CARGA DE LA BÓVEDA DE CAÑÓN HACIA LOS FAJONES. CATEDRAL DE AVIGNON

Las bóvedas de cañón estaban dando buen resultado con la ayuda de los arcos fajones que agilizaban su ejecución, de modo que, como el muro lateral había que hacerlo, y con él se soportaba bien el empuje, no debió considerarse necesario alterar la situación por el momento. Los contrafuertes, que empezaron siendo sólo un compás regulador de la composición formal en la fachada lateral del edificio románico, hasta el punto de no coincidir necesariamente con los fajones interiores en las etapas iniciales de este estilo, también, con el tiempo, se fueron situando en su lugar para aceptar correctamente el empuje.

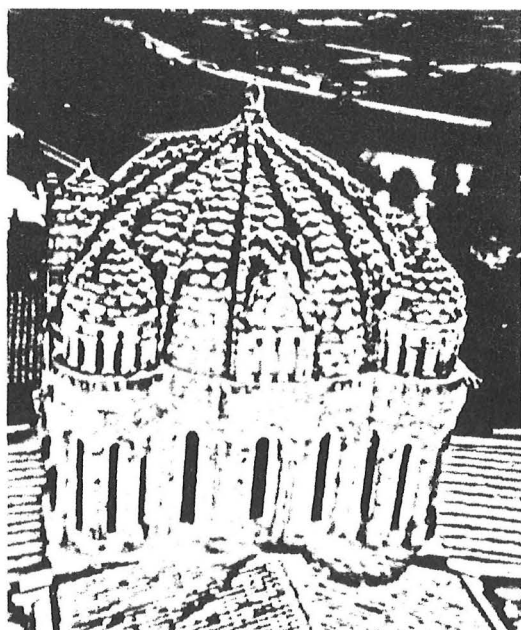


fig 15 CIMBORRIO DE LA CATEDRAL DE ZAMORA
cortesía de Pedro Navascués

El procedimiento más potente para reducir empujes consiste en construir bóvedas curvadas en dos direcciones, de arista o crucería, ya que la mitad de la superficie empuja en la dirección longitudinal de las naves cuyas bóvedas consecutivas se van compensando entre sí. Esto divide por dos el problema, salvo lógicamente en los extremos. Lo elemental de esta idea, unido a la existencia desde tiempos primitivos de esas formas bidireccionales, permite asegurar que esta solución estaba presente en las mentes de los artífices medievales. Baste recordar cualquier cúpula de oriente o las que ellos mismos crearon sobre los cruceros, como en Zamora.



fig 16 Catedral de Zamora

Usando como apoyo gráfico de lo que sigue la figura 14, debo indicar aquí que los arcos fajones recogen parte de la carga de la bóveda de cañón aunque ambos elementos se curven en la misma dirección. Efectivamente, al ser la bóveda más delgada que el arco se deformará más que él, por lo que la unión entre ambos tratará de rasgarse. Mientras eso no ocurre, —o, incluso una vez rasgado o siendo obras independientes de origen, mientras la bóveda esté en contacto con el arco—, hay una transferencia de carga desde la bóveda hacia el arco en la dirección longitudinal (la no curvada). Esa transferencia tiene poca incidencia en la zona de la clave, ya que el canto de la bóveda es muy reducido o, más correctamente, la esbeltez es muy elevada, pero en la zona lateral de los riñones, la sección vertical de la bóveda dispone de una altura muy considerable dentro del espesor, lo que permite la formación de arcos de descarga dentro de esa masa abovedada. La consecuencia es que la bóveda trabaja unidireccionalmente en su parte alta cercana a la clave, digamos para entendernos, que en los 90° superiores del cañón (que tiene 180° en el total de su desarrollo), mientras que en la parte baja se produce un trabajo bidireccional aumentando la descarga en los arranques de los fajones y reduciendo el peso que baja por los muros.

Esto quiere decir que los contrafuertes son elementos de contrarresto de primera magnitud ya desde esta época inicial románica, y que la bóveda va perdiendo importancia mecánica respecto de los arcos, o sea, los elementos masivos (bóveda y muro) con los que había empezado lo prerrománico van derivando hacia los elementos lineales (arco y contrafuerte) para tratar de dominar las deformaciones de los edificios, que se hacían más acusadas a causa del paulatino aumento de su tamaño.

Esta argumentación del apoyo de los riñones de las bóvedas de cañón en los fajones se ve plasmada visualmente en el crucero de la catedral de Aviñón incluido en la misma figura 14. Tal descarga en la dirección longitudinal, es aún más general, ya que lo dicho arriba se produce existan o no fajones, pues la parte lateral de las bóvedas de cañón trabajará en dirección transversal en cuanto que se produzca localmente cualquier movimiento lateral o un asiento de los muros. Esta transferencia bidireccional explica, por ejemplo, que puedan mantenerse en pie bóvedas con deformaciones locales exageradas.

Esa reducción de empuje producida sin más que cruzando dos bóvedas de ejes transversales fue ampliamente usada ya en lo románico, incluso con arcos apuntados, como en la catedral de Zamora, y se ve muy bien su efecto cuando miramos una obra ya hecha; pero para que alguien lo aplique por primera vez suele ser necesario que surja una necesidad que ayude a llegar a esa solución. Y aquí es donde aparece la catedral de Durham. Realizada inicialmente sin bóvedas y sólo con cubierta de madera, debió de tener sus muros de la altura actual, si atendemos a edificios normandos similares. Cuando, pasado un tiempo, se planteó la construcción de una bóveda en la nave central, hacerla de cañón, como se acostumbraba entonces, hubiera producido la pérdida de toda la claridad, por un lado, y el posible hundimiento de los muros, por otro, ya que posiblemente no hubieran aceptado los nuevos empujes. La existencia original de muros transversales atando los longitudinales cada dos tramos, al modo entramado comentado arriba, y que quedan aparentes en la iglesia siciliana normanda de Monreale (o en cualquiera mediterránea cuya herencia tenga que ver con la basílica romana), tuvo que dar pie a sus autores para pensar en su

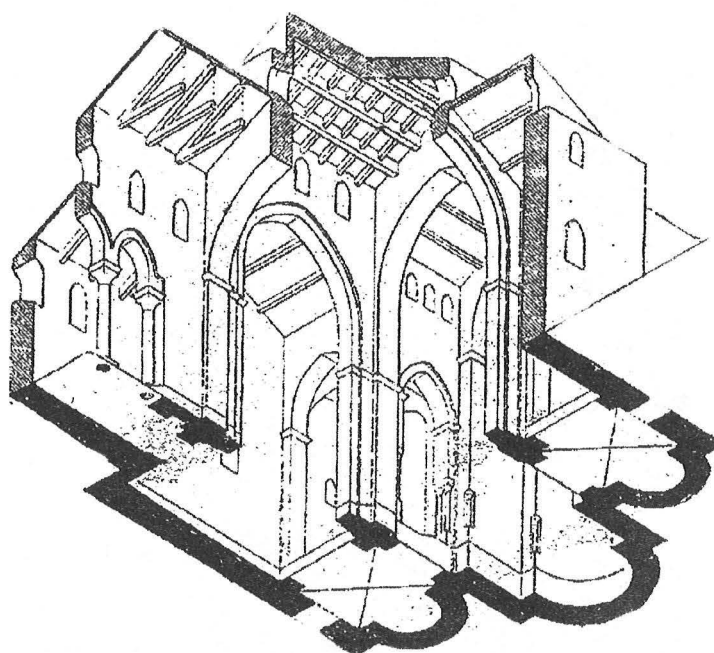


fig. 17 MONREALE (1) Y DURHAM (4)

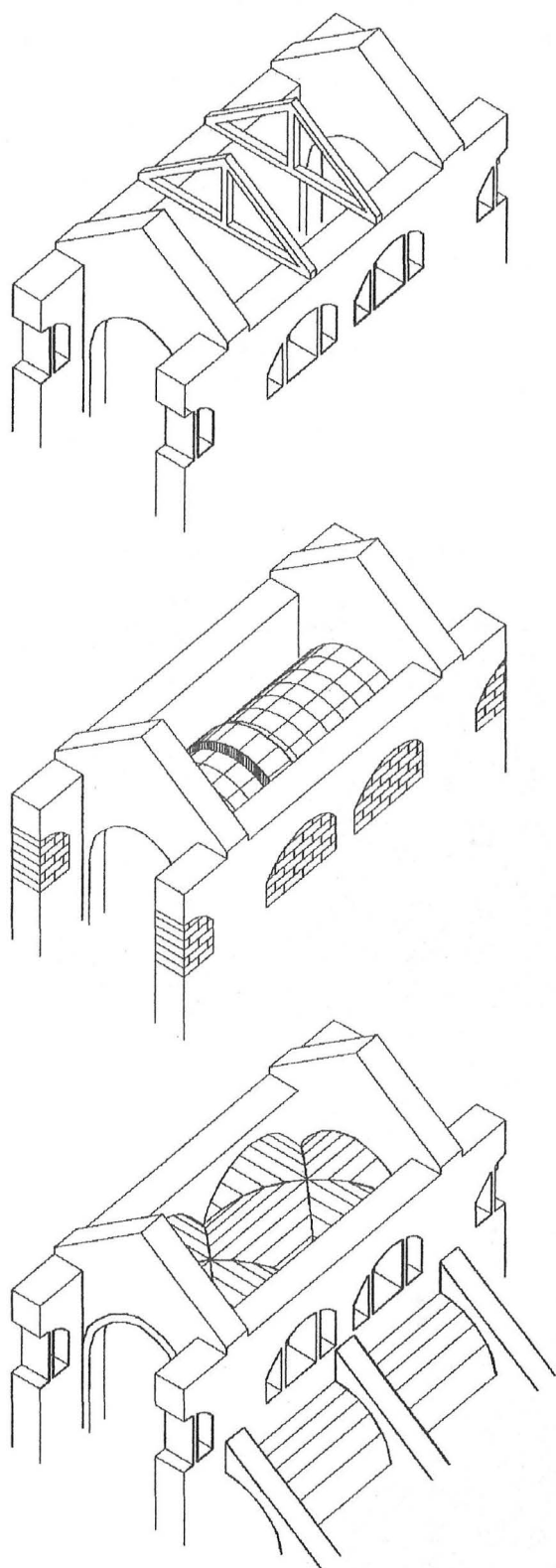


fig. 18

HIPÓTESIS DEL ABOVEDAMIENTO
DE LA CATEDRAL DE DURHAM

armadura inicial

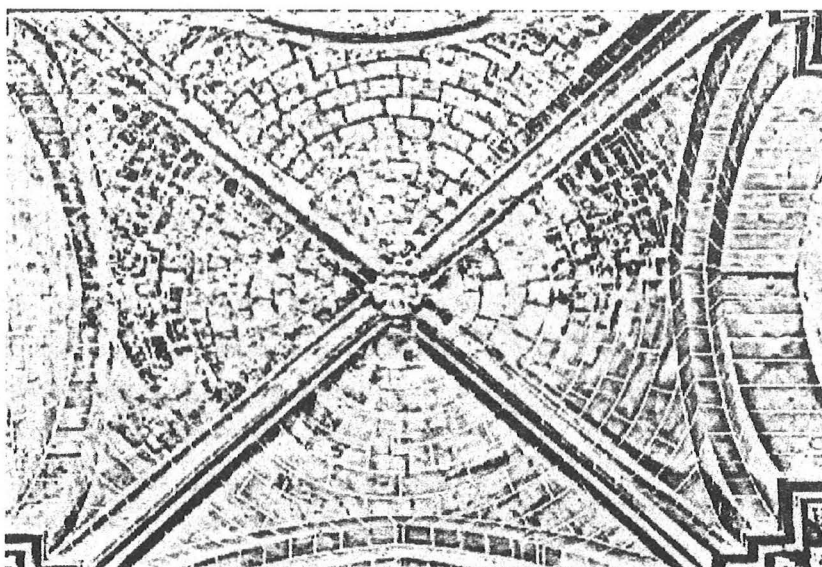
oscurecimiento con cañón

crucería

aprovechamiento mecánico en la reforma planteada para el abovedamiento, con el único inconveniente de que no existían en todos los tramos sino cada dos, por lo que tuvieron que hacer unos elementos con una función similar pero que además salvaran el triforio y que son los arbotantes hoy existentes, con los que se enviaba el empuje por encima de las naves laterales. Esto resolvía la contención del empuje pero producía un aumento de peso en estos nuevos apoyos que se resolvió aumentando la sección de los pilares afectados y que se decoraron con ese bello trazado en zig-zag con el que, una vez más, un elemento decorativo secundario, venido por necesidades constructivas de primer orden, pasa a ser estandarte estilístico. Hecho esto, sólo cabía apoyar unos arcos diagonales —única solución posible—, y configurar sobre ellos unas bóvedas de crucería. Aunque esta obra de cruceros se había hecho ya con anterioridad en las naves laterales románicas, parece que fue la primera vez que se empleó en una nave central y por los motivos de mantener la iluminación que luego plantearía la obra gótica. De modo que aquí tenemos contruidos unos buenos arcos cruceros y su bóveda de crucería y, el conjunto, apoyado sobre altos muros. Todo ello un siglo antes del gótico.

Aunque de sumo interés por su singularidad, no es necesario acudir a un caso puntual como éste para confirmar el empleo generalizado de bóvedas de crucería románicas, sea en las naves laterales o, incluso, en las centrales, como las de Zamora. La inicial bóveda de arista, desarrollada en Borgoña, para ser usada en los suelos de los triforios, fue derivando hacia la de crucería debido a la sencillez de ejecución de ésta, pues evita las intersecciones elípticas —que vemos en Sacramenia— a cambio de dos arcos semicirculares cruzados y que ocultan el vivo de la intersección de las bóvedas —cuando existe, ya que al avanzar en su desarrollo constructivo acaba desapareciendo ese cruce al abovedarse esfericamente, como hicieron los maestros aquitanos en Salamanca—. Como los cruceros tienen mayor radio que los formeros y fajones (en la misma proporción que la diagonal es más larga que los lados del cuadrado), su altura se sobreeleva respecto a ellos, lo que llevó a la deriva de la forma de simple curvatura de la bóveda de arista a la abombada.

fig. 19 CONOCIMIENTO GEOMÉTRICO ó SENCILLEZ CONSTRUCTIVA de las BÓVEDAS DE CRUCERÍA



CATEDRAL VIEJA DE
SALAMANCA



STA. Mª DE SACRAMENIA
cortesía de J. M. Merino

En consecuencia, las bases para abordar la resolución del problema de abovedamiento de la nave central ya están sentadas: Se conoce la forma de ejecutar bóvedas de arista y crucería, ha habido una etapa de transición desde los cañones con fajones hasta los sistemas bidireccionales con soluciones ojivales, lunetos, incluso aristas, y, también, se elevan muros y contrafuertes de calidad y dimensiones ajustadas a las necesidades de rigidez y equilibrio originadas por los empujes. Sólo queda dar el último paso de la creación del lenguaje gótico introduciendo la bóveda de crucería.

Mientras la nave central se cubrió con bóveda de cañón y fajones no era necesario establecer una relación con la anchura de la nave lateral. Los primeros pasos, reflejados en la figura 16 con la catedral de Zamora o en obras alemanas, son, en realidad, una mezcla de bóvedas de cañón a la que se le añadieron, bien lunetos, bien cruceros intercalados. Con ello, a lo que se procedió fue a elevar los cuadrantes laterales (acentuando el trabajo bidireccional de la bóveda pero manteniendo la tranquilidad del muro lateral.

Una forma prudente de mejorar esta cubrición se consiguió con abovedamientos experimentados, lo cual lleva a bóvedas en módulos sensiblemente cuadrados. Para ello, la nave central no es sólo mayor, sino que tiene que duplicar el módulo de las laterales, lo que cuadruplica el espacio a cubrir y a mucha más altura, creando, a buen seguro, una notable incertidumbre sobre la estabilidad, pues además del problema propio de tamaño, hay que trasladar la carga al exterior, sobre las naves laterales. A todo esto se añade el inconveniente de producir una diferencia de pesos y empujes entre los módulos cargados y los descargados. Un primer paso fue la bóveda sexpartita, que aunque con empujes y pesos distintos en unos pilares respecto de otros, transfería los esfuerzos a todos los estribos y sobretodo dejaba resuelto el problema de la iluminación.

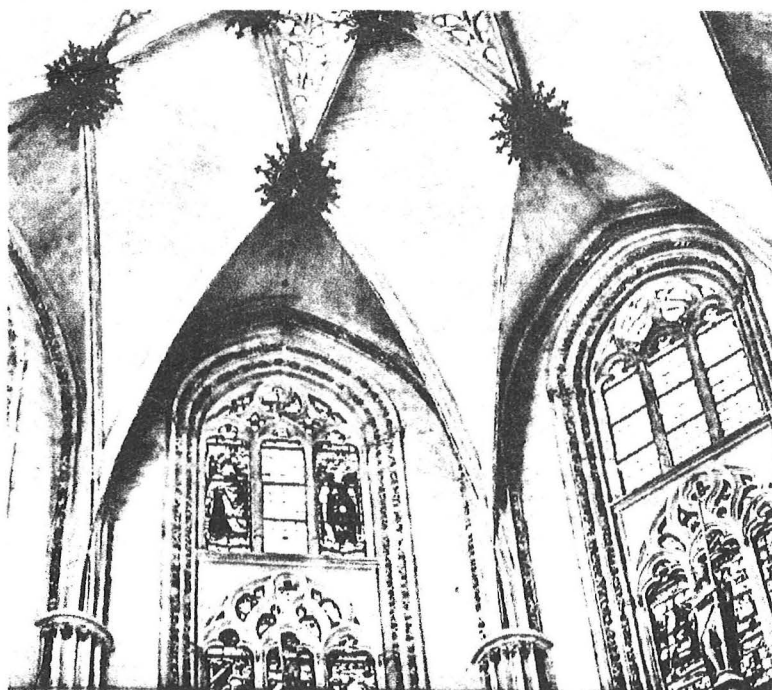
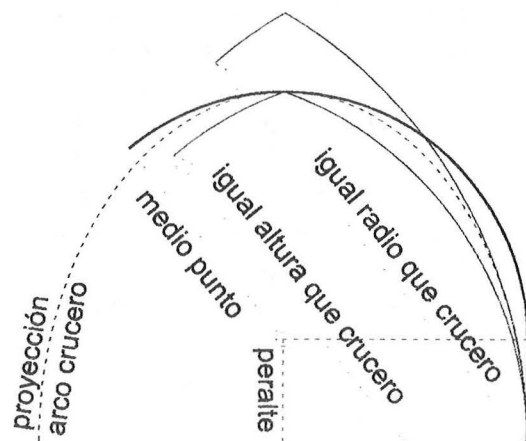
El salto definitivo se produce con la bóveda cuatripartita en módulo rectangular cuyo mayor éxito no es transmitir la misma carga y empuje a todos los elementos, sino que el hecho de construirla ahí arriba supone que se ha alcanzado la solución completa de todos los problemas mecánicos que planteaba la iluminación del templo, y que he tratado de ir desgranando con este texto. El aspecto aparentemente trivial que demuestra que se ha conseguido cerrar este conjunto de cuestiones con la bóveda de crucería del gótico clásico es haber situado las claves de los tres tipos de arcos (cruceros, fajones y formeros), sensiblemente, a la misma altura. Eso supone que las plementerías gravitan sólo sobre los cruceros que es tanto como decir que los muros son innecesarios, sólo los contrafuertes. No es tan importante que apoyaran también en los fajones si estos fueran más bajos, sino que no lo hagan sobre los formeros, porque sólo de ese modo el muro lateral no es necesario y puede hacerse completamente vidriado.

Para que los fajones transversales tengan la clave a una altura similar a la del crucero y nazcan a la misma altura hay que encontrar una solución peraltada. La más sencilla es mantener el mismo radio en todo su trazado, lo que lleva a realizar arcos apuntados. Haciendo un paréntesis, cabe preguntarse aquí por la necesidad de estos arcos transversales una vez que existen los cruceros para que apoyen los plementos. Por ejemplo, en Durham (figura 17) sólo están en los diafragmas originales. Efectivamente, la bóveda no necesita estos arcos (si acaso, para arriostrar la plementería), pero es que su misión es la de apoyo de los muros transversales que pasan por encima de ellos y que, como se ha dicho, son necesarios para cerrar el entramado de muros en planta. Por eso, como el espesor del muro diafragma es

fuerte y estuvieron exentos al inicio de la obra, los arcos fajones suelen ser mucho más gruesos que los arcos cruceros.

El diseño de los arcos formeros se rigen por otras condiciones: la primera, por que al estar situados en el lado corto del rectángulo, un arco del mismo radio que los anteriores, resulta muy agudo y, la segunda, por que las molduras se entrecruzan con las de los cruceros en los arranques produciendo cortes muy complejos. Además, si se hiciera apuntados y coincidentes sus cotas de arranque y coronación con los otros, resultarían arcos, y consecuentemente ventanales, estrechos. Por ello, la parte formalmente más compleja venía a producirse en los entrecruzamientos de los nervios, por lo que estos arcos se construyeron con los arranques peraltados y con frecuencia de medio punto o poco apuntados, produciendo un cierto abocinamiento de la bóveda en beneficio de la iluminación.

fig. 20 ABOCINAMIENTOS



solape en el arranque de los arcos (Merino de Cáceres)

fig. 21 Catedral de Burgos. CAPILLA DEL CONDESTABLE

En la figura 21 se muestra el conjunto de arranques de la capilla del Condestable de la catedral de Burgos con el extraño juego de los nervios que cierran los lunetos de la bóveda estrellada (y que serían comparables a los cruceros de una nave rectangular). Aparte de la tardía edad de la obra con respecto al gótico que aquí se analiza, ese extraño juego tiene como finalidad ensanchar lo más posible la embocadura para que el arco formero casi semicircular no quede prácticamente oculto, al ser más ancho y estar más arriba que los principales.

EPÍLOGO

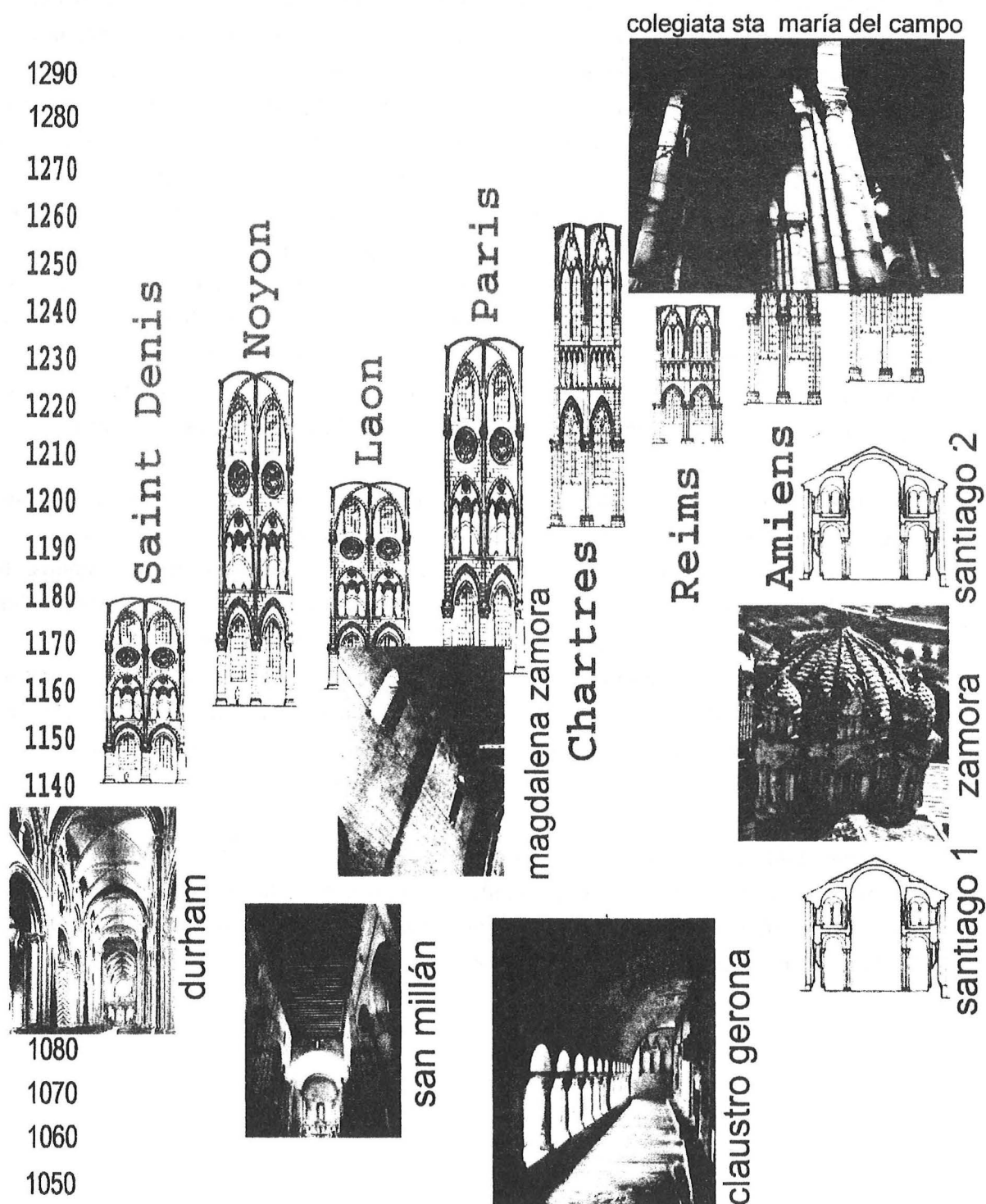
He comenzado este trabajo indicando la necesidad de que todo lo que hizo el gótico recién nacido necesitó de una experiencia previa que permitiera a sus artífices resolver la demanda de claridad en el interior de las catedrales. He tratado de justificar esta hipótesis hasta el punto de que pudiera parecer más un análisis de la edificación románica que gótica. Pero no me habría expresado bien si de todo ello se desprendiera que lo que intento decir es que el gótico se limitó a esa aplicación de técnicas anteriores. En absoluto. La explosión gótica no consistió en dar solución constructiva a un problema con la única notoriedad de realizarse con brevedad inexplicable, sino en establecer un lenguaje nuevo hecho a base de depurar aquellos sistemas hasta ponerlos en valor, gracias a un absoluto entendimiento constructivo y a una serie de conocimientos hasta ese momento inconexos, lenguaje que se estableció al ligarlos como conjunto coherente, y además, queda dicho, en un tiempo imposible. Trabajaron con tal convencimiento sobre esas bases que, se hiciera por parte de uno o varios artífices y se transmitiera la novedad o no a través de órdenes religiosas o peregrinos, el resultado fue que se llegó a una conclusión formal esencialmente única.

Está claro también, al menos para mí, que poseían un dominio de la mecánica, también previo al gótico, ya que tuvieron que determinar cuales debían ser los grosores de los nuevos muros o la longitud de los nuevos estribos que contuvieran los nuevos empujes, o la magnitud de los pesos de los pináculos para que no deslizaran los sillares de las hiladas superiores de los botareles. Lo que no es difícil de creer si añadido que ese dominio se rige por el principio de la palanca salido de las manos de Arquímedes y, eso sí, sabiéndolo aplicar machaconamente. Haber conseguido describir la forma de los edificios con unas leyes geométricas de proporción no sólo explica la facilidad de transmisión del conocimiento o de replanteo de la obra sino que se tenía claro el concepto de estabilidad.

Finalmente, la fiabilidad y economía de este modo de construir, al menos en zonas sin riesgo sísmico, lo demuestra su longevidad, al practicarse hasta el siglo XIX en el Reino Unido; su versatilidad, entremezclándose con el Renacimiento español; y su eficacia, al ser aplicado su sistema en la bóveda de Brunelleschi. *

* Montaje y edición de este texto realizados por Miguel Ávila Nieto.

En esta figura final he insertado en el calendario presentado al principio, en el que se representaba el gótico inicial francés, alguna de las imágenes empleadas en el texto, para dejar claro que el proceso mental que he seguido para describir el desarrollo mecánico de los tipos estructurales no tiene relación con el que pudiera obtenerse aplicando normas de catalogación basadas en criterios de ordenación formales, temporales ni geográficos.



TEXTOS DE LOS QUE SE HA EXTRAÍDO INFORMACIÓN GRÁFICA

- | | | |
|-----|------------------------|--|
| (1) | Choisy, A | Historia de la Arquitectura |
| (2) | Chueca Goitia, F. | Historia de la Arquitectura Española |
| (3) | Fletcher | Historia de la Arquitectura por el método comparado |
| (4) | Pevsner, N | Breve historia de la arquitectura europea |
| (5) | Torres Balbás, L. | Obra Dispersa. Archivo español de arte y arqueología |
| (6) | Villanueva Bartrina, L | Las bóvedas de cañón |
| (7) | Viollet-le Duc, E | Viaje a Italia |

NOTAS

NOTAS

NOTAS

CUADERNO

221.01

CATÁLOGO Y PEDIDOS EN

<http://www.aq.upm.es/of/jherrera>
info@mairea-libros.com

84-9728-205-1

